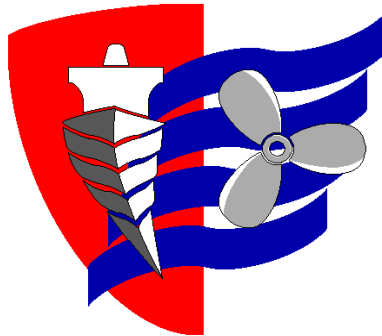


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

CORROSIÓN ACELERADA POR LOS ELEMENTOS DE PROPULSIÓN DE UN BUQUE

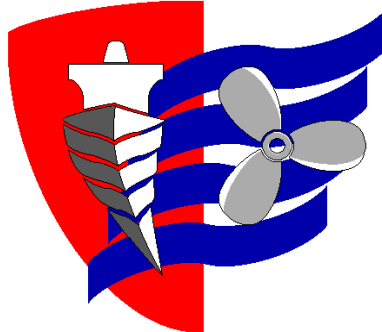
(ACCELERATED CORROSION BY THE
PROPULSION ELEMENTS OF A VESSEL)

Para acceder al Título de Grado en
GRADO EN INGENIERÍA MARINA

Autor: Pablo Colvée Suárez
Director: Alberto Porras Díez

Julio – 2019

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

CORROSIÓN ACELERADA POR LOS ELEMENTOS DE PROPULSIÓN DE UN BUQUE

(ACCELERATED CORROSION BY THE
PROPULSION ELEMENTS OF A VESSEL)

Para acceder al Título de Grado en
GRADO EN INGENIERÍA MARINA

Autor: Pablo Colvée Suárez
Director: Alberto Porras Díez

Julio – 2019

Indicie

Resumen.....	6
Summary.....	6
Palabras clave.....	7
Keywords.....	7
1. Planteamiento del problema.....	9
1.1. General	9
1.2. Título	9
1.2.1.1. Destinatario	9
1.2.1.2. Objeto del proyecto	9
1.3. Introducción a la corrosión	10
1.4. Tipos de corrosión.....	12
Corrosión uniforme	12
Corrosión galvánica	13
Corrosión por picadura o “pitting”	14
Corrosión microbiológica	15
Corrosión electroquímica	15
1.5. Factores económicos que influyen en la corrosión	17
1.6. FALLOS POR CORROSIÓN.....	18
corrosion cavitación	18
corrosion por erosión.	20
corrosión por frotamiento.	20
1.7. protección contra la corrosión.	21
recubrimientos.	22
pinturas.	23
el chorreado de superficies.	27

modificación del potencial.	30
2. metodología	33
3. Desarrollo.....	39
3.1. Averías por corrosión	39
4. Case study	46
5. Conclusiones.....	63
6. Bibliografía	65

RESUMEN

En el presente trabajo trataremos el análisis de los distintos fallos producidos por los distintos elementos de propulsión de un buque (Bow thrusters, Hélices de maniobra, Hélices de propulsión principal etc....) en el material afectado por la corrosión, debido a un mal diseño del elemento o de una mala protección del material.

El estudio de los casos se presentará con una problemática derivada por una acción corrosiva relacionándola con la posible causa productora, pudiendo estar esta causa relacionada directamente con una falta de protección, desgaste de esta debido a un mal diseño, una mala ejecución en la manufactura del elemento o por motivos relacionados con el medio que el buque desarrolla su actividad

El objetivo del presente trabajo es establecer las diferentes averías de los equipos o elementos del buque expuestos en un medio hostil durante su desarrollo de trabajo, además de los métodos más acertados para tratar este tipo de deficiencias.

SUMMARY

In the present work we will deal with the analysis of the different faults produced by the different propulsion elements of a ship (Bow thrusters, Maneuvering propellers, Main propulsion propellers, etc...) in the material affected by corrosion, due to a bad design of the element or of a bad protection of the material.

The study of the cases will be presented with a problem derived from a corrosive action related to the possible producing cause, this cause being directly related to a lack of protection, wear and tear due to a bad design, a bad execution in the manufacture of the element or for reasons related to the environment that the ship develops its activity

The objective of the present work is to establish the different faults of the equipment or elements of the ship exposed in a hostile environment during its development of work, in addition to the most successful methods to deal with this type of deficiencies.

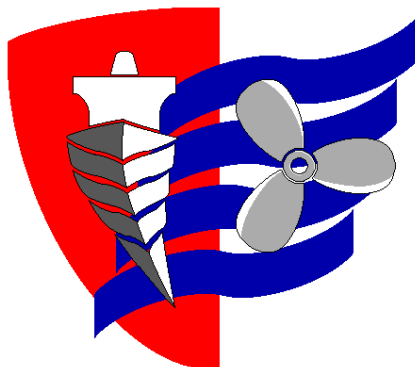
PALABRAS CLAVE

Corrosión, Tipos de corrosión, Cavitación, corrosión bajo tensión, Análisis de averías, Recubrimiento, Pintura, Preparación de Superficies, Tipos de chorreado.

KEYWORDS

Corrosion, Types of corrosion, Cavitation, stress corrosion cracking SCC, Fault analysis, Covering, Painting, Preparation of surfaces, Types of blasting.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. GENERAL

1.2. TÍTULO

Corrosión acelerada por elementos de propulsión del buque.

1.2.1.1. DESTINATARIO

El destinatario del presente proyecto es la Escuela Técnica Superior de Náutica de la Universidad de Cantabria, donde se presentará como Trabajo Fin de Grado al objeto de obtener el título de Grado en Ingeniería Marina de Pablo Colvée Suarez.

1.2.1.2. OBJETO DEL PROYECTO

El objetivo de este trabajo es el estudio de los casos de corrosión en las diferentes partes de la obra viva de un buque (superficie en contacto permanente con el agua) las cuales están expuestas a un medio salino y con alto porcentaje de erosión al experimentar flujos laminares, turbulentos, impactos fuertes, vibraciones generadas por los elementos de propulsión...etc. Para ello se han realizado estudios de casos prácticos sobre corrosión los cuales se van a tratar en el desarrollo del trabajo con la metodología más acertada para solucionar y evitar los problemas que pueden acarrear este tipo de fenómeno.

Es intención de este proyecto establecer y estudiar el comportamiento de los distintos materiales ante la fatiga de las turbulencias y vibraciones generadas por los elementos de propulsión del buque, ejercida sobre timones y túneles de hélices de maniobra principalmente, aunque también se tratará la corrosión general o más común que se produce habitualmente en un buque.

1.3. INTRODUCCIÓN A LA CORROSIÓN

La corrosión es la destrucción de un material por causa de una reacción química o electroquímica, con su medio ambiente. El material y su medio ambiente forman un elemento de corrosión, influyendo en la extensión de ésta los potenciales eléctricos de los materiales metálicos, así como diferencias en concentración y temperatura.

Todos los materiales tienen tendencia a volver a la condición estable en la que se encontraban en la naturaleza, es decir, termodinámicamente hablando a su estado estable.

Esta tendencia es mucho más fuerte en los metales menos nobles, por lo que éstos pueden clasificarse de acuerdo con su nobleza en orden de decreciente actividad y creciente potencial.

La corrosión de metales nobles es un hecho cotidiano, asumido de tal manera por el ser humano, pasando muchas veces desapercibido, siendo aceptado como algo tan irremediable como nuestro propio proceso de envejecimiento, al que asemeja en cuanto que es también una oxidación paulatina.

En lo que se refiere a la corrosión en el medio marino cabe decir que es uno de los entornos más agresivos, en cuanto a fenómenos de corrosión se refiere, es comúnmente conocido que el agua de mar provoca graves desperfectos en la inmensa mayoría de los materiales, que se ponen en contacto con ella, incluso materiales con notables propiedades de resistencia a la corrosión se ven final e inexorablemente atacados por el medio. Este es el caso de muchos tipos de aceros inoxidables, cuyas propiedades resultan mermadas y vencidas por el fenómeno de la corrosión.

Muchos materiales o aleaciones que muestran en el medio terrestre una excelente resistencia a la corrosión como son las aleaciones de bronce y determinadas aleaciones y compuestos de aluminio dotados de tratamientos superficiales para su protección, resultan débiles y propensos a sufrir corrosión cuando se instalan en buques o en puntos en los cuales se ven afectados por el medio o ambiente marino.

Las causas por las cuales estos materiales mencionados, terminan siendo atacados por la corrosión son muy diversas y en muchos casos complejas, pero también es frecuente que sus propiedades de resistencia a la corrosión se vean alteradas por procesos de montaje incorrectos (elección del material inadecuada), combinaciones desfavorables (uniones de materiales de potenciales extremos), perturbaciones directas (agresiones directas, impactos, inmersión, ataques de agentes agresivos, etc.).

La realidad por tanto es que en la mayoría de los casos en los que están implicados fenómenos de corrosión, estos frecuentemente no son derivados de leyes y procedencia muy compleja sino que más bien con carácter general estos ataques provienen de defectos muy fáciles de prevenir, para cuya corrección no hay que emplear complejas fórmulas ni complicados procesos, sino más bien sensatez y sentido común, basado en el conocimiento básico del comportamiento de unos materiales respecto a otros, sin olvidar en ningún momento que el agente agresivo es el agua de mar.

La tendencia que presentan todos los metales a volver al estado original en el que se encontraban en la naturaleza, provoca que la mayoría de los materiales empleados en construcción naval, resulten propensos a sufrir ataques de corrosión.

Por otro lado, el fenómeno de la corrosión en materiales expuestos al medio marino resulta tan habitual y tan frecuente que se ha creado una tendencia a pensar que este fenómeno es imposible de erradicar.

Esta especie de resignación y la consideración de la corrosión como un proceso inevitable, provoca que en muchos casos no se tomen las medidas mínimas, para evitar que los procesos de corrosión alcancen niveles, que provoquen la destrucción del material o que, como ocurre en muchos casos, incidan y sean la fuente de averías graves en el casco y en los componentes de maquinaria de la embarcación.

La resignación con la que muchos profesionales admiten e incluso toleran y justifican la corrosión, está muchas veces basada en el desconocimiento de los mecanismos, herramientas y medios de protección, disponibles actuales para

ralentizar y disminuir en gran medida los deterioros y costes derivados de este fenómeno.

Cuando se analizan pormenorizadamente muchos de los casos de corrosión que se presenta actualmente en los buques, se comprueba que una gran parte de los daños inducidos por la corrosión, podían haber sido evitados con medidas y acciones básicas de mantenimiento, que normalmente están “parcialmente detalladas en los manuales de Operación y Mantenimiento” de la maquinaria de los buques.

De igual forma en el caso del casco y apéndices externos, cuya protección depende básicamente del recubrimiento protector, deben cumplirse las normas lógicas de mantenimiento. Desgraciadamente los aspectos anteriores influyen notablemente en los costes totales de mantenimiento de una embarcación, motivo por el cual su incumplimiento es el que genera habitualmente la causa del ataque y avance de la corrosión.

*Fuente: TEMA 2.14 INTRODUCCIÓN A LOS FENÓMENOS DE CORROSIÓN. IWE-MÓDULO 2

1.4. TIPOS DE CORROSIÓN

En lo que se refiere a la corrosión en el medio marino cabe destacar cinco tipos de corrosión que son:

- Corrosión uniforme
- Corrosión galvánica
- Corrosión por picadura
- Corrosión microbiológica
- Corrosión electroquímica

CORROSIÓN UNIFORME

La corrosión uniforme es la más común y la que genera mayores pérdidas de material. Ataque al material metálico de manera homogénea se da tanto en bajas temperaturas, como en altas. Sin embargo, al ser de tipo superficial es también la más fácil de controlar y por tanto la que menos accidentes provoca. La corrosión atmosférica es el mejor ejemplo. Otro ejemplo es el ataque de un acero por una solución ácida.

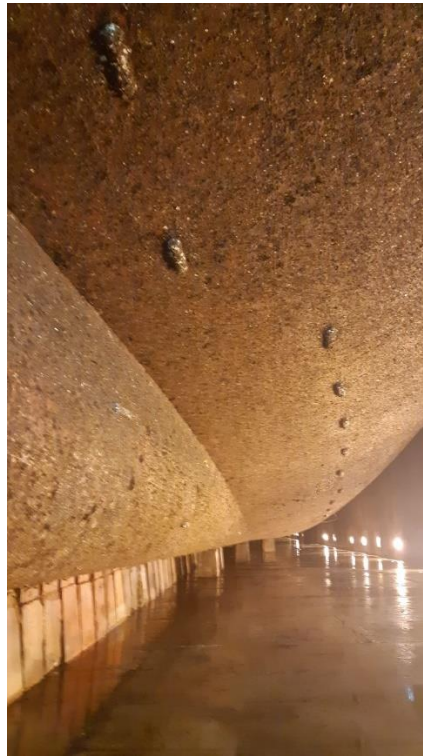


Figura 1. Obra viva de un buque afectado por corrosión uniforme.

Fuente: Propia.

CORROSIÓN GALVÁNICA

La corrosión Galvánica es una de las más comunes que se pueden encontrar. Es una forma de corrosión acelerada que puede ocurrir cuando metales distintos (con distinto par redox) se unen eléctricamente en presencia de un electrolito (por ejemplo, una solución conductiva).



Figura 2. Tornillo afectado por corrosión galvánica.

Fuente: Propia.

CORROSIÓN POR PICADURA O “PITTING”

Es altamente localizada, se produce en zonas de baja corrosión generalizada y el proceso (reacción) anódico produce unas pequeñas “picaduras” en el cuerpo que afectan. Ocurre como un proceso de disolución anódica local donde la pérdida de metal es acelerada por la presencia de un ánodo pequeño y un cátodo mucho mayor.



Figura 3. Tanque de lastre afectado por la corrosión por picadura.

Fuente: Propia.

CORROSIÓN MICROBIOLÓGICA

Es aquella corrosión en la cual organismos biológicos son la causa única de la falla o actúan como aceleradores del proceso corrosivo localizado.

La corrosión microbiológica o MIC se produce generalmente en medios acuosos en donde los metales están sumergidos o flotantes. Por lo mismo, es una clase común de corrosión.

Los organismos biológicos presentes en el agua actúan en la superficie del metal, acelerando el transporte del oxígeno a la superficie del metal, acelerando o produciendo, en su defecto, el proceso de la corrosión.

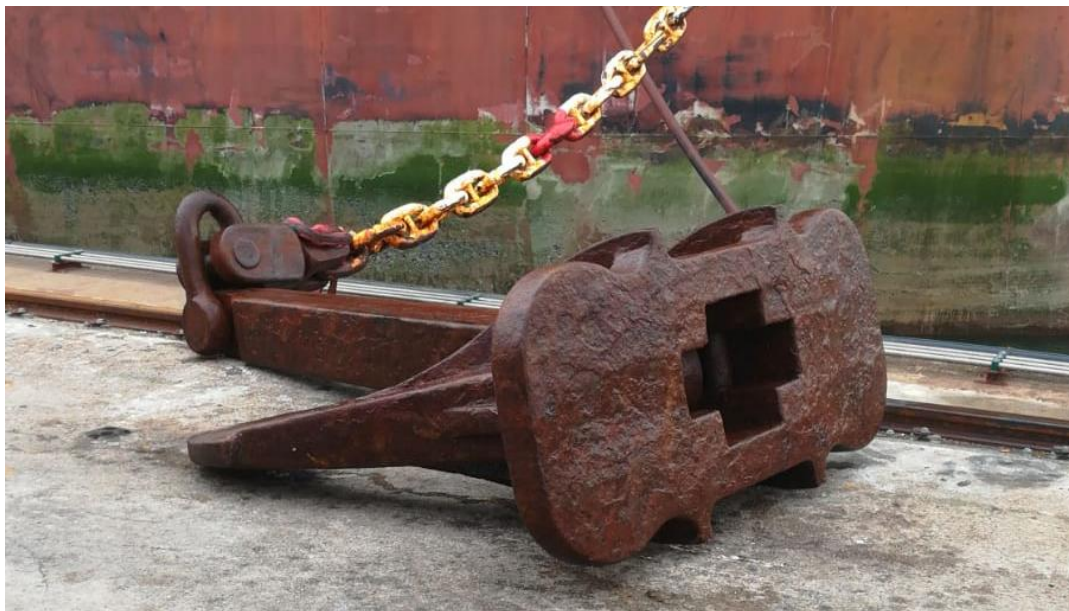


Figura 4. Estructura afectada por la corrosión.

Fuente: Propia.

CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA

Presencia en la totalidad de medios naturales y sintéticos de agua.

En este caso el proceso transcurre mediante un mecanismo electroquímico.

Lo que implica que se generen unas zonas en las que el metal se disuelve (zonas anódicas) y otras en las que permanece inalterado (catódicas), se ha formado así una pila.

Para que la pila funcione ininterrumpidamente exige que el contacto del electrolito entre ánodo y cátodo se mantenga, y además se cierre el circuito a través del mismo electrolito mediante la circulación de iones.

En este caso los productos de la corrosión se distribuyen heterogéneamente por la superficie pudiendo no tener carácter protector.

Si nos centramos exclusivamente en los procesos de corrosión electroquímicos y de manera concreta, en el caso de una embarcación, deben contemplarse una serie de cuestiones, que añaden una gran complejidad a los fenómenos de corrosión, que se presentan en los buques:

El buque desarrolla su actividad en un entorno variable en lo que a características fisicoquímicas del agua se refiere, pudiendo desarrollar su actividad en diferentes océanos e incluso en aguas costeras y estuarios de ríos, lagos etc.

Aparte del agua concreta en la que se desarrolla la actividad del buque, existen variables aleatorias que pueden influir negativamente en la protección del buque y finalmente en el comportamiento de esta ante el fenómeno de la corrosión, aspectos como el grado de contaminación, composición química y temperatura entre otros, pueden inducir importantes variaciones en el proceso.

Aparte de las cuestiones anteriores existen otros fenómenos perturbadores, que de forma directa o indirecta, provocan la aparición de fenómenos de corrosión severos, que causan daños concretos en determinados puntos del buque, aun estando los sistemas de protección de casco y máquinas correctamente instalados.

Citando a modo de ejemplo las corrientes derivadas o inducidas por alteraciones en las instalaciones eléctricas portuarias, servicios, buques atracados cercanos, alteraciones en la pintura de protección y derivaciones o defectos propios procedentes de fallos o incorrecciones en la instalación eléctrica del buque, aparte del montaje de materiales incompatibles en la instalación de a bordo.



Figura 5. Superficie box cooler afectada por la corrosión.

Fuente: Propia.

1.5. FACTORES ECONÓMICOS QUE INFLUYEN EN LA CORROSIÓN

Resulta evidente, que en estos últimos años los costes relacionados con el mantenimiento de los buques están sufriendo una merma paulatina, que en muchos casos ha supuesto drásticas medidas de reducción, pues bien este aspecto ha afectado negativamente a la totalidad de la flota mercante mundial, pero el efecto negativo se ha sentido aún mucho más en otros tipos de embarcaciones, que no se encuentran dentro del sector mercante, barcos de recreo, pesqueros, cabotaje y otras muchas embarcaciones y artefactos flotantes varios, se han visto expuestos durante espacios de tiempo prolongados a fenómenos de corrosión, que en prácticamente la totalidad de los casos acrecentaban su ataque, precisamente cuando los escudos, barreras y equipos de protección se encontraban en su nivel más bajo

1.6. FALLOS POR CORROSIÓN

Se ha puesto de manifiesto la gran variedad de formas en que puede desarrollarse un ataque por corrosión. En numerosos casos este deterioro puede producir la rápida inutilización de un determinado material en servicio o producir la rotura catastrófica del mismo. El modo de ataque es, por tanto, una característica fundamental a conocer en las interacciones metal-medio, si se pretende eliminar o al menos minimizar y controlar la acción de los procesos de corrosión, manteniendo un adecuado funcionamiento de las instalaciones industriales.

Analizaremos a continuación los diferentes tipos de ataques y roturas producidos por corrosión, indicando las causas fundamentales de su desarrollo y siempre que sea posible la mejor forma de evitarlos. En este trabajo nos centraremos en los procesos de corrosión asistidos mecánicamente (corrosión cavitación y corrosión por erosión, por frotamiento).

CORROSION CAVITACIÓN

El fenómeno de cavitación consiste en la formación y posterior implosión de burbujas de vapor en el seno de un fluido, en el cual la presión hidrostática disminuye temporalmente por debajo de la presión de vapor del líquido. Estas presiones tan bajas se producen o bien por elevadas velocidades de flujo o por vibraciones, pudiendo contener las burbujas, además del vapor del líquido, gases disueltos como oxígeno, nitrógeno, etc.

Las burbujas, al alcanzar el fluido una presión superior a la de vapor del líquido, desaparecen bruscamente por implosión, donde pueden producirse presiones de hasta varias decenas de miles de atmósferas en superficies muy pequeñas. Si estas implosiones se verifican sobre una superficie metálica, se producirá un fuerte impacto del líquido con velocidades de hasta 500 m/s, que llevarán a la rotura de la capa protectora del metal con la formación de hendiduras que serán sitios preferentes para la implosión de nuevas burbujas cavitacionales. La película de óxido no llega a regenerarse por completo, repitiéndose el proceso hasta el deterioro del material

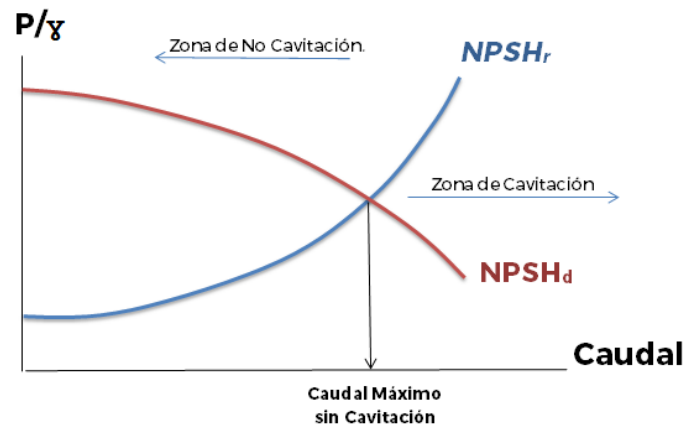
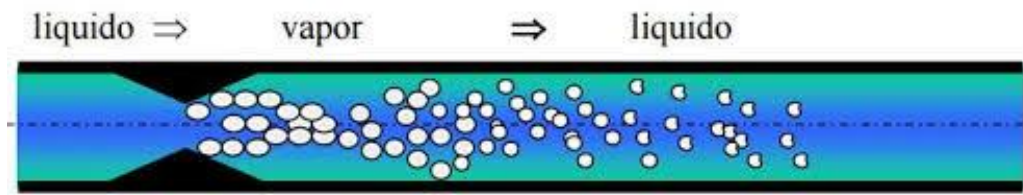


Figura 6. Superficie de una pala afectada por la cavitación.

Fuente: Propia.

CORROSION POR EROSIÓN.

Describiremos la corrosión por erosión como el deterioro causado por líquidos en movimiento laminar o turbulento sobre superficies metálicas. La velocidad de corrosión dependerá de la velocidad de flujo del líquido y de su composición. En el caso de líquidos que contengan partículas sólidas en suspensión con velocidades de circulación inferiores a 1 m/s, estos sólidos se depositarán originando corrosión por aireación diferencial, con lo cual no será recomendable bajar de dicha velocidad.

En función del material y de las características del fluido, existirá una velocidad de flujo determinada a partir de la cual se producirá la rotura de la película de óxido protectora, incrementándose la corrosión. El metal descubierto hará de ánodo frente al resto de la superficie. El flujo rápido eliminará los productos de corrosión formados activando el proceso de disolución anódica, apareciendo los típicos surcos o huecos redondeados orientados en la dirección del flujo.

Este tipo de corrosión puede producirse en todos los equipos en contacto con líquidos en movimiento como bombas, válvulas, tubos de intercambiadores, condensadores, etc. La mayoría de los metales son susceptibles a la corrosión por erosión, la mayor o menor estabilidad dependerá fundamentalmente de las características de resistencia y adherencia de sus películas de óxido.

CORROSIÓN POR FROTAMIENTO.

La corrosión por frotamiento, fricción o abrasión se presenta cuando dos superficies en contacto están sujetas a desplazamientos relativos de tipo oscilatorio. Este ataque se ha observado en cojinetes, cilindros rotores, bielas y otras piezas sometidas a vibración, estando en muchos casos asociado a la rotura por fatiga.

El mecanismo de deterioro se explica considerando que las dos superficies en desplazamiento relativo solo se tocan en puntos determinados, donde existen presiones elevadas, con posibles zonas de soldadura en frío. Estos puntos soldados se rompen por acción de las vibraciones, oxidándose las partículas metálicas desprendidas debido al calor de fricción, actuando de abrasivo. Otra

interpretación del fenómeno es suponer las superficies en contacto recubiertas de una película de óxido, esta se rompe por deslizamiento, regenerándose la capa desprendida y actuando el polvo de óxido nuevamente como abrasivo.

A consecuencia de la fricción de estas partículas duras se forman ondulaciones, estrías o ranuras en donde podrán iniciarse grietas por fatiga.

Una lubricación adecuada que dificulte el contacto metal con metal e impida el acceso del oxígeno será una medida preventiva adecuada cuando puedan aparecer estos fenómenos y también la combinación de un metal duro con un metal blando que actuará atrapando las partículas duras desprendidas evitando su acción abrasiva.

1.7. PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN.

La corrosión de metales y aleaciones, como ya se dijo anteriormente, es un proceso natural que se produce de forma espontánea, destruyendo o reduciendo las propiedades de los materiales en servicio. Es necesario, por tanto, controlar estos procesos degradativos para mantener inalteradas las características de los componentes el mayor tiempo posible. Este control se realiza por diferentes técnicas elegidas en función de los materiales a proteger, las condiciones del medio, la responsabilidad de los equipos y las condiciones económicas del sistema en su conjunto. Los métodos de protección y control de la corrosión tienen como objetivo optimizar las técnicas utilizadas en cada aplicación.

El paso inicial para la aplicación de un sistema de protección a un componente suele ser la limpieza y preparación de la superficie. Su objetivo es la eliminación de sustancias orgánicas, tales como aceites, grasa, restos de pintura, y de materiales inorgánicos principalmente óxidos formados en la superficie durante los procesos de fabricación del componente. Una limpieza y preparación superficial adecuada al método de protección utilizado es fundamental para la obtención de una protección contra la corrosión eficaz. Actualmente existen una gran variedad de métodos de limpieza, su selección estará condicionada por la técnica y tipo de protección, carácter y volumen de trabajo y en general por condiciones económicas. La eliminación del óxido superficial, cascarilla, y otros

productos de corrosión, se realiza principalmente por abrasión mecánica, cepillado o chorreado, o por decapado químico y electrolítico. El decapado químico se utiliza para aceros al carbono, aleaciones ligeras y materiales no férricos. El decapado electrolítico se utiliza fundamentalmente para aceros al carbono y aleados.

Los procedimientos de protección contra la corrosión pueden clasificarse en los siguientes apartados.

RECUBRIMIENTOS.

La protección mediante recubrimientos está basada en la denominada técnica de barrera, es decir, interponer entre el medio y el material a proteger una sustancia que impida el acceso de los productos agresivos del ambiente al material susceptible de ser corroído, en este trabajo uno de los objetivos es el estudio del empleo de revestimientos en zonas susceptibles de sufrir corrosión asistida mecánicamente como la corrosión por cavitación, corrosión por erosión o corrosión por frotamiento.

La elección de un determinado recubrimiento dependerá de la naturaleza del material a proteger y la agresividad del ambiente a que se encuentre sometido. Los recubrimientos en función de su naturaleza se clasifican en tres grupos:

- Recubrimientos metálicos. Los recubrimientos son metales o aleaciones que tienen una mayor resistencia a la corrosión que el material que protegen. La aplicación del recubrimiento puede hacerse por diferentes técnicas (laminación, inmersión en caliente, electrodeposición, metalización, soldadura, etc.). Los recubrimientos pueden ser anódicos frente al material base, como los recubrimientos de cinc y cadmio sobre el acero al carbono, o catódicos como el estaño, níquel, cromo y plomo sobre acero al carbono.
- Recubrimientos inorgánicos. Los recubrimientos pueden ser capas oxidadas del mismo metal base producidas de manera controlada (anodizado, pavonado, etc.), pueden ser obtenidas mediante un

tratamiento de pasivación de la superficie (fosfatado, cromado, etc.) o mediante la aplicación de compuestos inorgánicos sobre la superficie (cerámicos, vidrios, cementos, etc.).

- Recubrimientos orgánicos. Los recubrimientos están compuestos por una o varias capas de sustancias orgánicas: pinturas, plásticos, alquitrán, aceites, grasas, ceras, etc. Debido a la importancia de la pintura como recubrimiento en el sector naval le dedicaremos un apartado especial.

PINTURAS.

En el mantenimiento de buques o estructuras, es sabido por todos que hay una acción corrosiva a través del tiempo a menudo en condiciones meteorológicas muy severas, especialmente en las partes sumergidas de los buques y estructuras, debido a la cantidad de pintura que por cualquier razón puede desprenderse y que suponga una degradación de la protección. Hay que tener en cuenta que parte de la superficie puede quedar sin pintura por motivos de golpes contra muelles, remolcadores, defensas, anclas, etc.

En general, si queremos obtener una buena protección, es totalmente necesario ayudar a la pintura con otros medios. De todas formas, la mejor pintura nunca puede prevenir totalmente una difusión de agua y oxígeno en la zona de acero sumergida, lo que ayuda al proceso de oxidación.

La mejor protección para la corrosión marina es una combinación de una buena pintura y protección catódica, ya que una buena aplicación de la pintura es una barrera de ayuda, que reduce la corriente requerida a suministrar por la protección catódica. Todas las pinturas que se utilicen deben tener una gran resistencia alcalina, ya que la protección catódica va acompañada de una ligera alcalinidad.

En relación a las superficies pintadas, sin una adecuada preparación previa de la superficie a pintar, puede que tengan anomalías. Éstas pueden presentar problemas para la adherencia y dificultades para las correctas propiedades de la nueva capa de pintura. Estas anomalías son:

- El pulverizado que impide la adherencia de forma similar al polvo, esto provoca desprendimientos y corrosión de manera veloz. Para poder realizar otra actividad es necesario limpiar y raspar el pulverizado.
- La exudación/transpiración es la separación de los sólidos del producto y otro material en la superficie del recubrimiento aplicado. Se produce una pérdida de adherencia de la capa a aplicar.
- Zonas sin pintar o con poros que dan lugar a la falta de espesor de la película seca. Los poros pueden abrirse paso a través de capas posteriores. se deben tapar las zonas que se encuentren sin pintura antes de aplicar capas del nuevo recubrimiento.

Las variaciones en el espesor pueden afectar de manera negativa a la protección y al secado del nuevo recubrimiento. Hay dos tipos de espesores:

- Espesor de película demasiado bajo: Si se da que el espesor es demasiado bajo en la película puede causar poros a través de las capas que le suceden, con lo que se obtendrá una película seca abierta de bajo espesor en seco. La solución es aplicar una capa adicional con un posterior secado más prolongado.
- Espesor de película demasiado alto: Ante una película de espesor alto el tiempo de secado será prologado y puede causar un corrimiento. Puede existir una retención de disolvente y reduce las propiedades de protección contra la corrosión y resistencia mecánica.

Respecto a la calidad de la pintura, si queremos obtener el mayor grado de una buena capa de pintura y pretendemos que se retarde lo máximo posible la aparición del óxido, tenemos que elegir la pintura más adecuada y la de mejor calidad, aplicando correctamente las capas de pintura. Por otro lado, debemos eliminar restos de la primera capa de pintura por completo si se da el caso de que la pintura aplicada anteriormente no es compatible con el sistema de recubrimiento que vamos a aplicar.

Antes de aplicar la pintura es importante comprobar la temperatura de ésta:

- Una temperatura alta durante la aplicación puede provocar la pulverización seca, una película de recubrimiento y una oxidación precipitada.

- Si la pintura es demasiado baja nos encontramos con una alta viscosidad, lo que dificulta la adecuada agitación y hace imposible su correcta atomización.

La temperatura óptima para cualquier pintura es de 15-25°C. Si nos encontramos en este rango de temperaturas, las capas de pintura que apliquemos tendrán un correcto espesor.

La pintura debe ser completamente uniforme, si esto no sucede la composición no será correcta en la superficie y daría lugar al problema de obstrucción de boquilla de las pistolas.

Las pinturas con partículas pesadas, como el zinc y antiincrustante, son las que mejor tienen que agitarse.

La pintura suministrada contiene los tipos y cantidad de disolventes que son necesarios para que la evaporación sea adecuada y la correcta formación de la película.

Hay que tener cuidado en el caso que se requiera una mayor dilución, ya que un diluyente incorrecto puede dar pie a un secado lento, la retención del disolvente y separación de las fases de la capa aplicada durante el secado.

Respecto al agente de curado (catalizador), éste y la base reaccionan químicamente para formar la película de pintura y dotarlo de sus características prediseñadas se deber tener en cuenta:

- El catalizador debe ser el correcto, el que se nos proporcione con la base.
- Añadirse en la proporción correcta.
- Ambos componentes deben mezclarse correctamente.

No se debe de añadir más catalizador del indicado porque realizaremos mal la mezcla, sus consecuencias serán:

- Reducción de la resistencia al agua.
- Reducción a productos químicos.

Estos dos factores provocarán la caída de capas posteriores.

Cuando la dilución se queda corta durante el proceso de aplicación aparece un flujo deficiente de la película de pintura debido a la alta viscosidad.

En lo que se refiere a la cantidad de pintura, debemos de tener en cuenta que tenemos que disponer de pintura suficiente para poder conseguir el espesor de pintura necesario. Y otro punto sería establecer el consumo de pintura necesario para acordar el consumo requerido.

El disolvente debe de evaporarse de las capas de pintura aplicadas. Para una correcta evaporización debemos tener una correcta ventilación.

Si se produce una ventilación insuficiente dará lugar a:

- Un secado lento no permitiendo el curado de la pintura.
- El riesgo de que no se evaporen todos los disolventes.

Una ventilación demasiado intensa puede producir retención de disolventes.

Respecto al espesor de película seca y espesor de película húmeda, se debe de tener de antemano la medida de los espesores que deben de alcanzar estas películas. Se deben de efectuar varias medidas de comprobación con el equipo de medición adecuado, para verificar que la película tiene las micras necesarias. Todas estas cuestiones deberán de llevarse a cabo de acuerdo con el seguimiento en todo momento de la ficha técnica suministrada por el fabricante de la pintura y de acuerdo con el procedimiento de pintado establecido de antemano. Existe una relación entre el espesor de película seca y película húmeda:

- Espesor de película seco bajo → espesor de película húmeda bajo
- Espesor de película seco alto → espesor de película húmeda alto

Si la capa obtenida es demasiado baja se podrá solucionar mediante una capa de pintura adicional (esta capa no debe de tener poros).

Si la capa obtenida es demasiado alta aparecen problemas de cohesión. Este problema dará lugar a la realización de un proceso de chorreado y una nueva capa de pintura.

Cuando las pinturas “envejecen” pueden darse cambios químicos o físicos. Los cambios físicos, podrían solucionarse agitando fuertemente la pintura. Pero si los cambios son químicos esta pintura habrá quedado en desuso. Depende el tipo de pintura, estas tendrán una vida útil determinada:

- Si una pintura se encuentra a menos de 25°C su duración será aproximadamente de un año.
- Las pinturas de dos componentes (duración de 3 años)
- Las pinturas de un solo componente podrán almacenarse hasta los 5 años.

EL CHORREADO DE SUPERFICIES.

El chorreado es un proceso por el cual se consigue la limpieza completa de cualquier metal, antes de que éste reciba cualquier tipo de recubrimiento, mediante arena, granallado y últimamente se está desarrollando el hydroblasting, que consiste en un chorreado sólo con agua a alta presión (sobre 3000bar).

El chorreado se realiza al aire libre, en salas de chorreado o en cabinas. En el caso de un buque o una estructura de gran tamaño se ejecuta con unidades móviles de chorreado. Se deben de tener tres factores a tener en cuenta estos son: la altura, la forma y la densidad de la pieza que se quiere limpiar. Estos factores nos determinan el argumento para poder decidir un tipo de chorreado u otro.

En lo que se refiere a los abrasivos, éstos son utilizados para producir una limpieza en el material corroído, se eliminan calaminas resistentes y pinturas.

Existen diferente variedad y tipos de abrasivos para poder cubrir todo tipo de necesidades que pueden ser requeridas dependiendo del caso a tratar. Se utilizan en superficies amplias.

Existen diferentes tipos de chorreado que son empleados para la limpieza de superficies atacadas por el fenómeno de la corrosión que son:

- El chorreado en seco tiene que ser seleccionado para los metales blandos y frágiles y sus aleaciones, como el aluminio, el magnesio, el cobre, el cinc y el berilio. La limpieza por chorreo seco es probablemente el método más eficiente y eficaz desde el punto de vista medioambiental para la limpieza.
- El chorreado con medio húmedo difiere del chorreo seco en que las partículas abrasivas utilizadas suelen ser mucho más finas y están

suspendidas en agua tratada químicamente, formando una especie de lodo. Este compuesto acuoso es bombeado y agitado continuamente para prevenir su solidificación y es impulsado por aire comprimido a través de una o varias boquillas dirigidas hacia la pieza de trabajo.

A diferencia del chorreo seco, el objetivo del chorreo húmedo no es la eliminación basta de calaminas resistentes, rebabas o suciedad sino la producción de efectos relativamente leves sobre la superficie de la pieza de trabajo.

Con frecuencia es necesaria una limpieza previa al chorreo para prevenir la contaminación del lodo de recirculación.

Pueden utilizarse tipos y tamaños de abrasivos muy diversos para el chorreado con medio húmedo. Los tamaños van de una malla de 20 (muy gruesa) a una de 5000 (ultrafina). Entre los tipos de abrasivos utilizados se encuentran materiales orgánicos o agrícolas, bicarbonato sódico, sílice, cuarzo, óxido de aluminio, etc.

- La limpieza por chorreado con hielo seco (nieve de CO₂) se trata de una forma de chorreo abrasivo en la que son propulsadas sobre la superficie a tratar partículas duras de CO₂ helado, por medio de aire o de otros gases. La granalla de CO₂ sirve para eliminar pinturas, grasas y aceites. Algunas piezas pueden ser sensibles a los cambios térmicos que produce la granalla, por lo que se hará necesaria una prueba previa. Gran poder de eliminación de partículas. Como alternativa se utilizan “copos de nieve” blandos de CO₂ helado. La nieve de CO₂ es muy eficaz en la eliminación de partículas. Ha sido utilizada para eliminar pequeñas partículas de componentes ópticos, giroscopios, espejos muy finos y otras superficies delicadas. Algunas fuentes señalan experiencias exitosas de eliminación de capas de fluidos, flujos y huellas digitales. No sirve para eliminar óxido, pintura, grasas o capas gruesas de aceite.

El chorreado con arena es un tipo de chorreado en seco que consiste en proyectar arena mediante una corriente de aire impulsada por un compresor sobre piezas y estructuras metálicas para limpiar la superficie. Este proceso se puede realizar al aire libre o en cabinas especializadas para ellos; pero cuando nos encontremos ante grandes estructuras que se han de chorrear utilizaremos unidades móviles de chorreo. Durante la realización de esta tarea los granos de

arena impactan con gran energía en las piezas metálicas eliminando cualquier resto de óxido, suciedad o cualquier otro tipo de restos que se hayan quedado adheridos al metal. El proceso de chorreado con arena puede ser:

- Chorro ligero: Se elimina la capa de laminación suelta, el óxido suelto y las partículas extrañas sueltas del soporte
- Chorro minucioso: Se elimina casi toda la capa de laminación, el óxido visible y las partículas extrañas del soporte, hasta quedar un 66% de la superficie limpia y de color gris.
- Chorro muy minucioso: Se elimina la capa de laminación, casi todo el óxido visible y las partículas extrañas del soporte, hasta quedar un 95% de la superficie limpia y de color blanco con algunas manchas.
- Chorreo hasta metal blanco: Se elimina toda la capa de laminación, el óxido visible y las partículas extrañas del soporte, hasta quedar la totalidad de la superficie limpia y de color blanco.

El proceso de chorreado con granallado puede ser o bien chorro seco, menos común en superficies a la intemperie, o chorro húmedo el cual es común en astilleros.

Este chorreado consiste en la proyección de partículas abrasivas (granalla) a gran velocidad (65 - 110 m/s) que, al impactar con la pieza tratada, produce la eliminación de los contaminantes de la superficie.

El granallado es un método que se utiliza para limpiar, fortalecer (peening) o pulir el metal. El granallado se utiliza en casi todas las industrias que utilizan metales, incluyendo: la aeronáutica, la del automóvil, la de la construcción, la de fundición, la naval, la del ferrocarril y otras muchas. Hay dos tecnologías que se utilizan: el granallado por turbina o el chorreado por aire.

Cuando las partículas impactan sobre el metal producen la remoción de los contaminantes de la superficie (pintura, óxido, calaminas, residuos de fundición, rebabas...)

MODIFICACIÓN DEL POTENCIAL.

La protección mediante la modificación del potencial está basada en la existencia de zonas de pasividad e inmunidad para un metal al variar el potencial frente al pH según se vio en el diagrama de Pourbaix. Este procedimiento de protección está basado en dos técnicas.

Protección catódica.

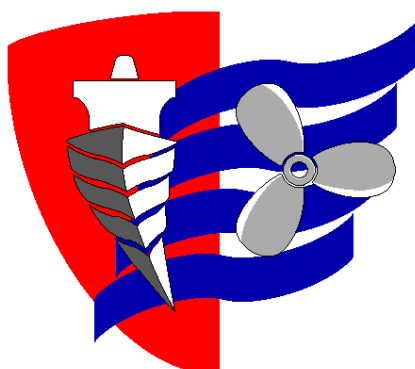
Consistente en llevar el metal a proteger dentro de la zona de inmunidad. El fundamento electroquímico sería el desplazar el potencial del material que se pretende proteger hasta zonas de las cuales actúe exclusivamente convoca todo. A estos potenciales, la reacción anódica desaparece de la superficie del material y se obtiene la protección completa de la estructura. El potencial necesario para producir el desplazamiento del potencial puede obtenerse aplicando una corriente impuesta a la estructura o mediante la colocación de ánodos de sacrificio distribuidos a lo largo del componente a proteger. Los ánodos están fabricados con un material más electronegativo que la estructura a proteger (aluminio, cinc o magnesio en el caso del acero), de manera que en ellos se produzca la reacción anódica quedando toda la estructura en zona catódica. Los ánodos de sacrificio se irán deteriorando con el tiempo y necesitarán sustituciones periódicas para mantener la eficacia de la protección.



Figura 6. Ánodos Cathelco (ánodos de corrientes impresas)
instalados en la toma de mar de un buque
Fuente: Propia.

Protección anódica. Consiste en llevar el material a proteger dentro de la zona de pasividad. En estas condiciones se vio anteriormente que existe una pequeña velocidad de corrosión, que será aceptable si es uniforme en toda la superficie. La protección anódica se encuentra limitada por el hecho de que el material debe poder pasivarse en el medio en el cual el componente se encuentre inmerso. Este tipo de protección se utiliza únicamente en casos muy específicos.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



METODOLOGÍA

2. METODOLOGÍA

Debemos considerar que el control de la corrosión en un buque depende de numerosos factores, que intervienen y de hecho condicionan la evolución, y de manera especial, el daño infligido por el fenómeno de corrosión en un buque determinado.

En el caso de un buque de mercancías común (Ro-Ro, Portacontenedores, graneleros, buques tanque...etc.) se presentan una serie de características especiales, que hacen que el control de la corrosión en este tipo de buques presente una especial dificultad, por las cuestiones que se detallan a continuación:

- 1) En los buques mercantes actuales no se realizan tareas de mantenimiento continuo sobre el recubrimiento, lo normal es que el buque entre cada 3-5 años a pintar patente y extienda la pintura de obra muerta a periodos de siete o diez años o más.

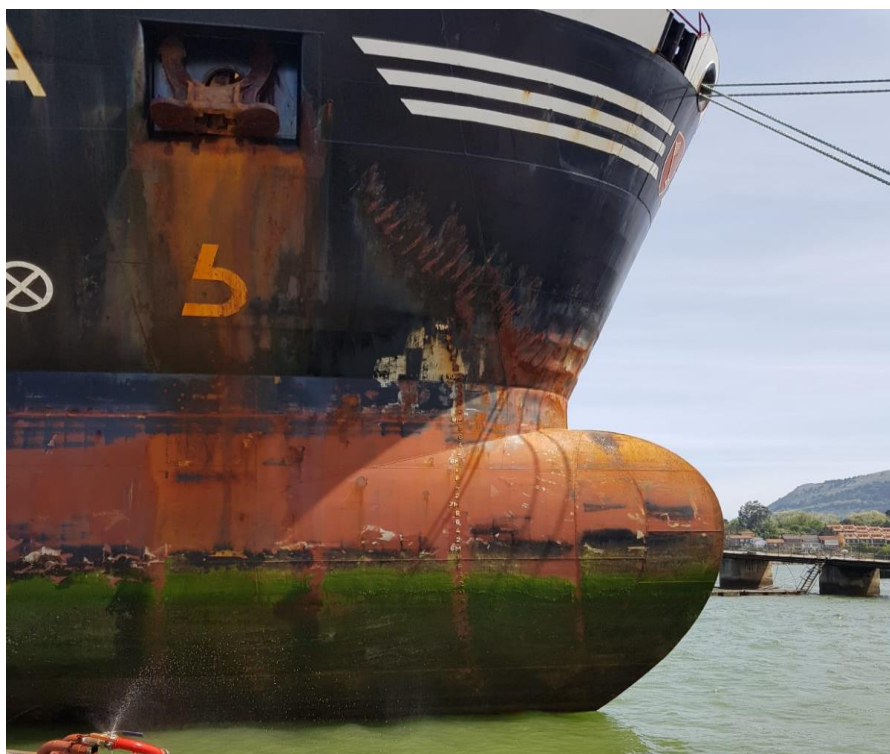


Figura 6. Estado superficial de la proa de un buque tras 5 años de su última varada.

Fuente: Propia.

- 2) Los procesos de reacondicionamiento de casco mediante aplicación de chorreado se dilatan demasiado, siendo frecuente realizar estas labores cada 8 años, siendo dilatada esta actuación en algunos casos aún más.



Figura 6. Estado superficial de la cubierta de un buque Ro-Ro tras el proceso de chorreado por vacío.

Fuente: Propia.

- 3) Durante los tiempos intermedios de mantenimiento anual la pintura de obra muerta es sometida a procesos de reparación puntuales con mayor o menor frecuencia y alcance, dependiendo de cada buque o compañía, no estando garantizado que, durante la realización de estas actuaciones de mantenimiento, el procedimiento aplicado sea el adecuado y conveniente en cada caso.



Figura 6. Estado superficial de la superestructura de un buque con evidencias de parches de pintura y signos de corrosión localizada.

Fuente: Propia.

- 4) No se realiza, con carácter general, ningún tipo de control, inspección o seguimiento activo, encaminado a preservar el casco y los componentes de la embarcación de los fenómenos de corrosión, no se realizan mediciones ni controles encaminados directamente a mantener la efectividad del recubrimiento de pintura del buque.

- 5) No se realizan habitualmente controles y verificaciones periódicas de las condiciones de aislamiento de la instalación eléctrica, de componentes y equipos, que por causa fortuita puedan originar episodios de derivación o pérdida de aislamiento, que causen alteraciones y perturbaciones del potencial de corrosión del buque.
- 6) No se mide ni se controla con suficiente rigor el potencial de corrosión del buque, por tanto, tampoco se corrige o controla la instalación de ánodos de sacrificio, su desgaste, su número y las condiciones de situación e instalación en el buque, permanecen inalterables durante periodos indeterminados.
- 7) Por otro lado es evidente que durante la construcción y la explotación de los buques mercantes no es frecuente que se apliquen medios ni controles efectivos ante la corrosión que se ajusten plenamente a las características y peculiaridades de cada buque, de manera que en la mayoría de los casos los equipos de protección (zines) sean insuficientes, demasiados, estén mal instalados, sean inadecuados y no estén situados correctamente ni repartidos convenientemente para ejercer una labor de protección satisfactoria.



Figura 6. Guardacabos buque con exceso de protección catódica.

Fuente: Propia.

- 8) No hay un criterio aplicable a cada uno de los componentes principales del buque, que con carácter general sea aplicado de forma efectiva y sensata sobre los equipos a proteger, ponemos por caso la existencia de buques mercantes con una gran red de tubería de agua salada de circulación a sistemas de refrigeración y lastre, que no disponen de ningún sistema de protección efectiva o eficaz, para evitar la corrosión acelerada de las líneas de tubería, presentando frecuentemente efectos y secuelas derivadas de procesos de corrosión severos.

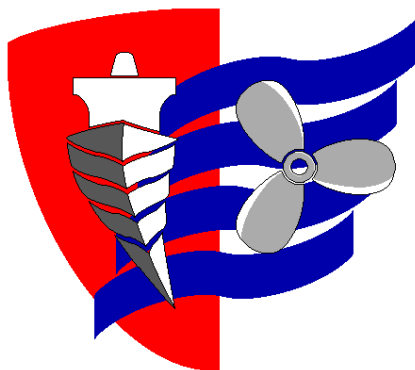


Figura 7. Superficie de una tubería de refrigeración de M.P afectada por corrosión.

Fuente: Propia.

- 9) No se aplican criterios de potencial de los diferentes materiales instalados a bordo del buque, en los equipos principales y auxiliares de manera que la incompatibilidad de materiales instalados a bordo de los buques es una causa frecuente de procesos de corrosión que dañan los componentes vitales de la instalación.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



DESARROLLO

3. DESARROLLO

A continuación, se plasman en el presente trabajo una serie de estudios, datos y fotografías que presentan diferentes afectaciones de componentes y equipos por efecto directo o indirecto del fenómeno de corrosión.

3.1. AVERÍAS POR CORROSIÓN

En los apartados siguientes se enumeran averías producidas por corrosión directa, que afecta a equipos vitales del buque, se reflejan y enumeran los defectos y deterioros infringidos por la corrosión, que en muchos casos implican la invalidación de uso del equipo o bien su desecho o sustitución por un elemento nuevo.

En muchos casos los defectos afectan a cuestiones de seguridad de la instalación y del personal del buque, y en otros casos simplemente se trata de daños materiales de no compleja sustitución y coste no excesivo, un ejemplo muy claro que ilustra este tipo de averías son las averías en válvulas que pueden ocasionar la invalidación de un equipo vital para el buque, sobre todo nos centraremos en los fallos por corrosión, erosión, cavitación y corrosión bajo estados tensionales.

Erosión. La erosión se localiza siempre en puntos en los que la velocidad de impacto es alta. El daño producido por la erosión puede reducirse seleccionando la válvula adecuada para cada servicio, con:

- Sección de paso grande y sin estrangulamientos
- Sección de paso lisa, con pocas irregularidades
- Los mínimos giros del fluido posibles
- La superficie del asiento y del obturador endurecida

En algunos casos, el daño más grave puede reducirse variando las condiciones de operación, por ejemplo, cambiando una bomba impulsora si está provocando

altas presiones de forma innecesaria. Para combatir la erosión más fuerte (especialmente debida a fangos), las válvulas de diafragma y las de apriete son las más indicadas.



Figura 8. Estado interno de una válvula de tormenta (descarga M. Aux) afectada por erosión en el asiento de cierre de la válvula.

Fuente: Propia.

Corrosión. La corrosión, generalmente ocasionada por el ataque de una sustancia química o impurezas, puede ser general o local. La corrosión general suele dar un deterioro bastante uniforme de toda la superficie, en cambio, la corrosión local implica un daño poco generalizado pero un ataque local severo, normalmente en puntos de la superficie con imperfecciones o con fatiga.

La mejor forma de evitarla es seleccionar para la válvula la aleación más resistente o, en casos extremos, instalarla de cerámica, revestida de vidrio o con cuerpo entero de plástico. En cualquier caso, el material del que se construya la válvula debe resistir al agente corrosivo particular.

Las tablas de corrosión son útiles para una visión general de posibles materiales de construcción, pero no aseguran una correcta selección para una aplicación particular. La resistencia a la corrosión de cualquier material puede estar afectada por trazas de diferentes sustancias, por eso el mejor método para escoger el material de la válvula es la toma de datos experimentales con muestras expuestas a los fluidos que realmente serán manejados bajo las condiciones de operación previstas.

Existen numerosas razones por las que una válvula puede inutilizarse por corrosión al contener un fluido; un caso habitual es que el flujo de un gas esté previsto que sea seco y en cambio contenga pequeñas cantidades de líquido que causan la corrosión; también puede suceder que por un almacenaje inadecuado se dañen las válvulas, quedando los efectos escondidos hasta que la válvula se expone a las condiciones de operación.

Cuando el daño no es grave es posible reparar el cuerpo de la válvula, al menos provisionalmente, con una soldadura de metal o, para bajas presiones y temperaturas, con resinas epoxi o componentes metaloplasticos como la Belzona.



Figura 9. Estado interno de una válvula de guillotina o compuerta (sistema ecosonda) afectada por corrosión,

Fuente: Propia.

Cavitación. La cavitación es un fenómeno que puede afectar a la eficiencia de las válvulas y que, dependiendo de su severidad, puede causar erosión, ruido excesivo o vibraciones peligrosas. Este fenómeno consiste en la formación y colapso de cavidades de vapor en un flujo de líquido. La cavidad de vapor puede formarse en cualquier lugar del flujo donde la presión local se reduce a la presión de vapor del líquido a la temperatura del líquido. En estos puntos una parte del líquido vaporiza y se forman burbujas o cavidades de vapor. El colapso de las burbujas empieza cuando se desplazan hacia regiones donde la presión local es mayor que la presión de vapor.

Como ningún material puede resistir el continuo golpeo de las burbujas que implosionan, la solución es evitar la formación del vapor de cavitación o bien, prevenir su implosión. Para ello, las características que debería tener la válvula son:

- Capacidad de recuperación de baja presión
- Un camino de descarga en el orificio que suponga la implosión del vapor de cavitación en medio de la corriente de flujo en lugar de hacerlo contra los límites de la conducción.
- Una abertura preparada para la libre descarga a un tanque u otro contenedor de líquido
- Una forma que permita la aspiración de gas no condensable y su mezcla con las burbujas de vapor, para la prevención de implosiones súbitas

De los tipos de válvula estándar, la válvula de globo con orificio de paso en forma de V permite la recuperación de presión más baja y es la menos susceptible a sufrir cavitación.

Las válvulas de mariposa y esféricas tienen una recuperación de presión desfavorablemente alta en largas aperturas, pero algunas tienen pasos de caudal que confinan las cavitaciones leves al centro de la corriente.

Las válvulas especiales anti-cavitación se caracterizan por múltiples y pequeños canales de flujo y pasos tortuosos.



Figura 10. Estado superficial del actuador de una válvula de mariposa (sistema de lastre) afectada por cavitación,

Fuente: Propia.



Figura 11. Estado superficial de la pala de la hélice de propulsión principal (palas de paso variable sistema "CPP") afectada por cavitación,

Fuente: Propia.



Figura 12. Estado superficial de la pala de la hélice de propulsión principal (palas de paso variable sistema "CPP") afectada por cavitación,

Fuente: Propia.

CORROSIÓN POR TENSIÓN. La rotura por corrosión por esfuerzo o bajo tensión (stress corrosion cracking SCC) de metales se refiere a la rotura originada por la combinación de efectos de tensiones intensas y corrosión específica que actúa en el entorno del metal. Durante la SCC el ataque que recibe la superficie del metal es generalmente muy pequeño mientras que las grietas aparecen claramente localizadas y se propagan a lo largo de la sección del metal.

*Fuente: TEMA 2.14 INTRODUCCIÓN A LOS FENÓMENOS DE CORROSIÓN. IWE-MÓDULO 2



Figura 13. Estado superficial, de banda de recubrimiento de acero inoxidable de túnel de hélice de maniobra.

Fuente: Propia.

4. CASE STUDY

Como el objeto principal del trabajo es el análisis de los diferentes tipos de corrosión, que se ven acelerados por los elementos de propulsión del buque y como solucionarlos. Entraremos en profundidad con un caso en concreto, con el que podremos ilustrar un problema generado en servicio, el cual ocasionó un análisis del problema y una solución, para una puesta en servicio optima, de un buque tipo cablero de bandera francesa que realizó su reparación en el astillero de construcción y reparación naval Astander.



Figura 14. Buque cablero francés del cual trata el estudio.

Fuente: Google photos.

Paso 1. Una semana antes de la llegada del buque al astillero se convocó una reunión con el inspector de la compañía y el equipo de técnicos del astillero al cargo de la reparación.

En dicha reunión se trataron los temas más técnicos que afectaban a la reparación, el inspector aportó toda la documentación de la que disponía para ilustrar a los técnicos sobre el alcance de la reparación y toda la documentación técnica y especificación de los distintos fabricantes de los equipos.

Por parte del astillero se realizó un estudio en profundidad de cada punto de la reparación, para aportar las propuestas para una óptima reparación.

El punto más importante y reseñable de la reparación y en el cual nos centraremos en este estudio fue la reparación del túnel de hélice de maniobra

TH5, se trata de un túnel de hélice de maniobra ubicado en la parte de popa del barco en el cual está alojado una hélice de maniobra transversal de 4 palas de paso variable, que ayudan considerablemente al buque durante sus operaciones de instalación de cable en el océano, ya que, trabaja con DP o posicionamiento dinámico, para poder quedarse en una posición estática en la superficie del mar mientras opera.

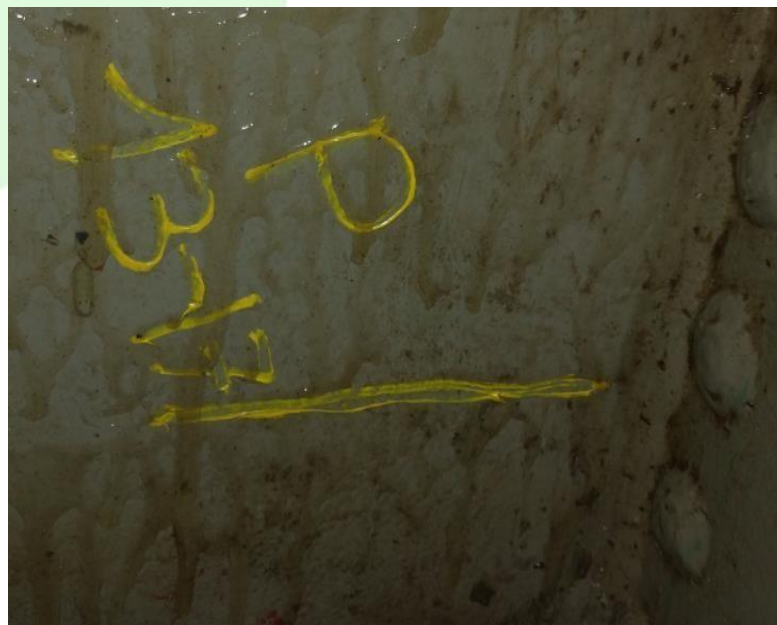
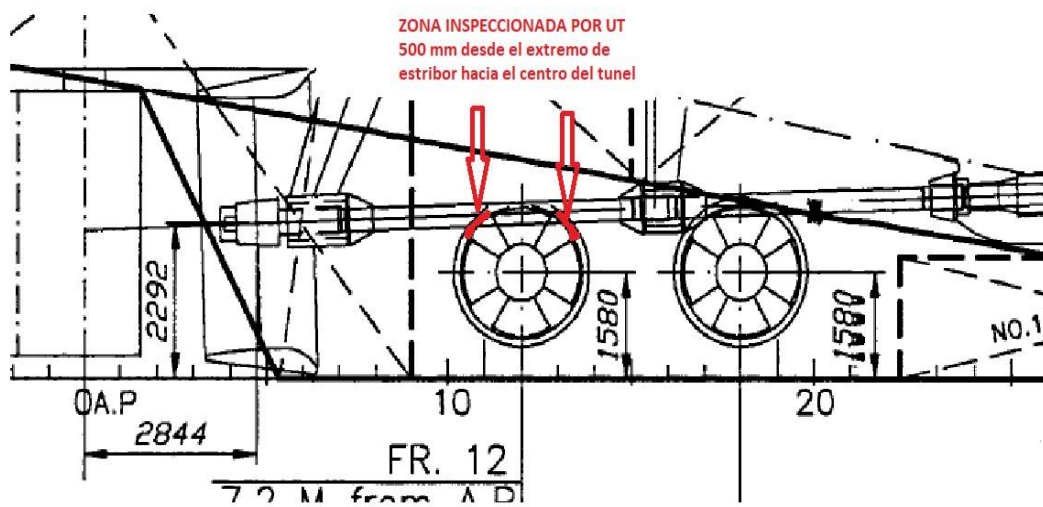
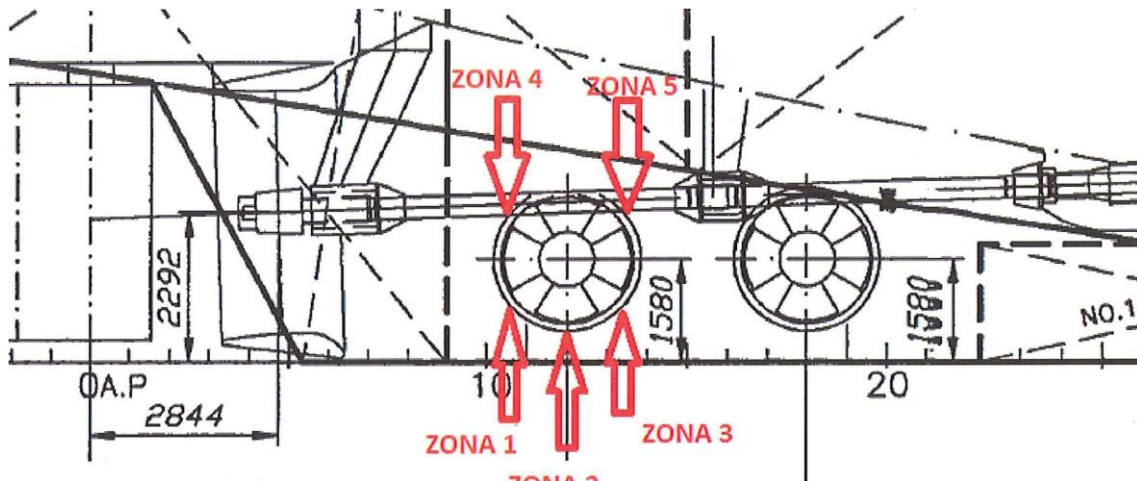
Paso 2. A la llegada del barco a las instalaciones del astillero, lo primero que se realizó fue una inspección visual y dimensional del cuerpo del túnel para una buena evaluación de los daños en el mismo.



Figura 15 y 16. Estado superficial, del acero al carbono del cuerpo del túnel y de la banda de acero inoxidable, ambos con estado de agrietamiento muy acusado.

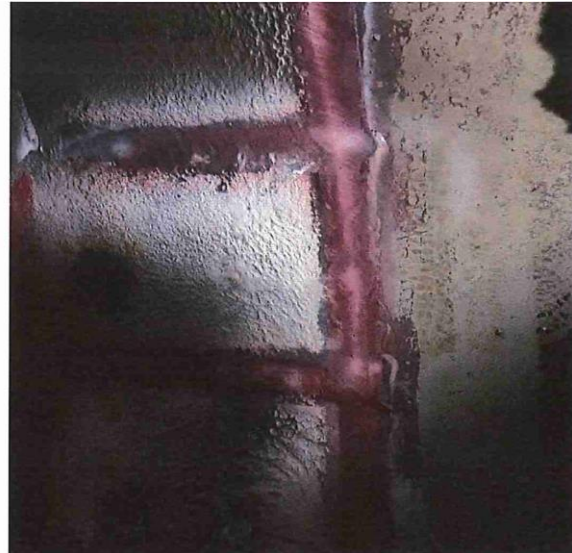
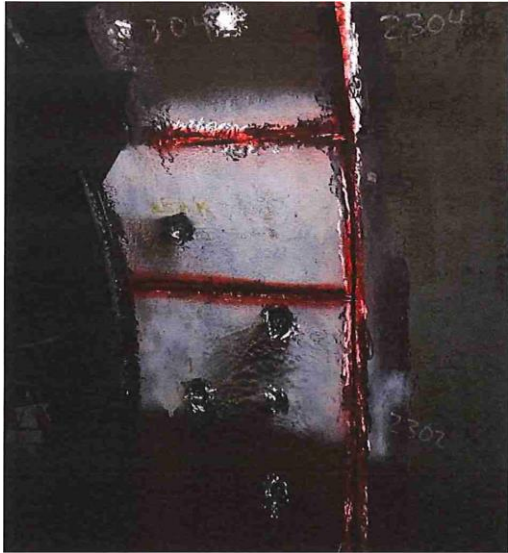
Fuente: Propia.

Tras la inspección visual, en la cual se descubrieron grietas muy pronunciadas en la banda de acero inoxidable anti-desgaste y en el acero al carbono del cuerpo del túnel, se procedió a una inspección de partículas magnéticas, líquidos penetrantes y de ultrasonidos para conocer con exactitud la profundidad de las grietas y su alcance. Además de dichas pruebas se realizó un ensayo de PMI (identificación positiva de materiales) al acero al carbono del cuerpo del túnel para conocer su composición exacta, el cual dictaminó que era un acero de calidad naval A F6 502 235. Dicho dato es importante para poder realizar un procedimiento de soldadura adecuado y conocer el mejor material de aporte y las temperaturas entre cordones de soldadura, etc., para una buena reparación.



Figuras 17, 18 y 19. Esquemas de las zonas en los que se realizaron ensayos no destructivos previos a la reparación y foto de una de las grietas tras la inspección de UT

Fuente: Propia.



Figuras 20 y 21. Ensayo de líquidos penetrantes, en el acero al carbono del cuerpo del túnel tras la eliminación de la banda de acero inoxidable.

Fuente: Propia.

Después de un estudio en profundidad para conocer la extensión del problema y su origen, se pudo llegar a la conclusión, de que el problema estaba siendo originado por un exceso de vibraciones en el conjunto de hélice de maniobra y motor eléctrico de propulsión que no estaban siendo absorbidas por el sistema de amortiguación propio del túnel, por un diseño deficiente del cuerpo del túnel, el cual no repartía debidamente las fuerzas transmitidas por las vibraciones y por un deficiente ajuste de origen, de todos los elementos de amortiguación.

Por consiguiente, estaban siendo absorbidas por el propio acero del túnel originando primero grietas en el acero al carbono del cuerpo, las cuales, se transmitieron a la banda anti-desgaste de acero inoxidable.

Dicho sistema de amortiguación está compuesto por dos juntas exteriores que componen el sello primario de estanqueidad de material goma de EPDM de 16mm de espesor, las cuales tienen forma de Omega Ω , una junta superior en la que descansa el cuerpo del túnel y toda la estructura, que compone el sello secundario de estanqueidad, con forma cuadrada, fabricada con un material de goma viscoelástica de alta resistencia de 100mm de espesor con un diseño en forma de H para realizar una buena estanqueidad en su máxima compresión la cual no debe de ser superior a 16mm para no sobrepasar su límite elástico y no estropear propiedades de la goma. Además del los sellos primario y

secundario, el otro elemento del que está compuesto el sistema de amortiguación, son unos tacos de goma cilíndrica ubicados en la parte superior del sello secundario que son los encargados de absorber y repartir por todo el perímetro de la estructura las vibraciones generadas por el motor y la hélice.



Figuras 22. Foto sello primario o junta Ω

Fuente: Propia.



Figuras 23. Foto sello secundario y silenbloks.

Fuente: Propia.

Paso 3. Tras la exhaustiva evaluación, en la cual, se dictaminó finalmente con el aporte de un estudio de vibraciones (en servicio), encargado por el inspector previamente, que las vibraciones por un mal equilibrado motor-hélice y un diseño de amortiguación insuficiente, transmitían vibraciones con una frecuencia de resonancia, que produjeron grietas fatales en la estructura del túnel.

Con el consiguiente dictamen y una propuesta de reparación por parte del astillero, aprobada por el inspector de la compañía propietaria del buque y por la sociedad de clasificación, se procedió al desmontaje de todos los componentes móviles del sistema y al desmantelamiento de toda la zona afectada del túnel. Para ello lo primero que se realizó fue un estudio de elevación de la carga, para poder suspender toda la estructura que supera las 7Tn.

Una vez toda la estructura estaba desplazada de su emplazamiento original pudimos observar el estado de los silenbloks o tacos de amortiguación de fuerzas axiales, (ubicados en la parte inferior del túnel y que no son visibles ni accesibles con el túnel en posición) los cuales tenían un estado tras 18 años de servicio extremadamente bueno sin signos de compresión ni de haber sufrido esfuerzos de trabajo, solo con manchas e incrustaciones marinas originadas por las filtraciones de agua dentro del espacio vacío.

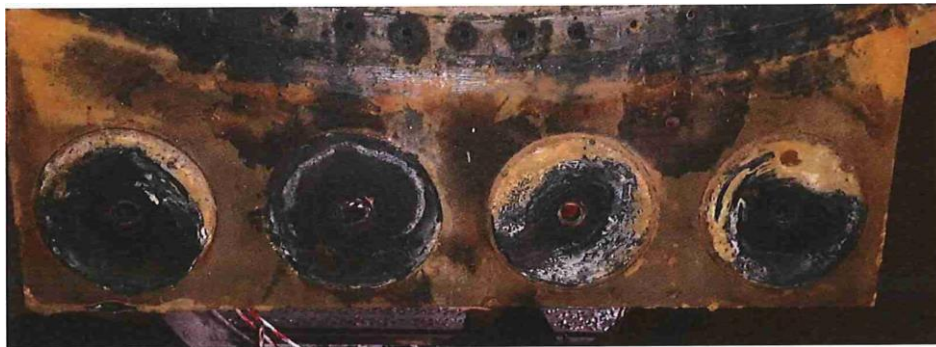


Figura 24. Estado superficial de los tacos de amortiguación axial del túnel

Fuente: Propia.

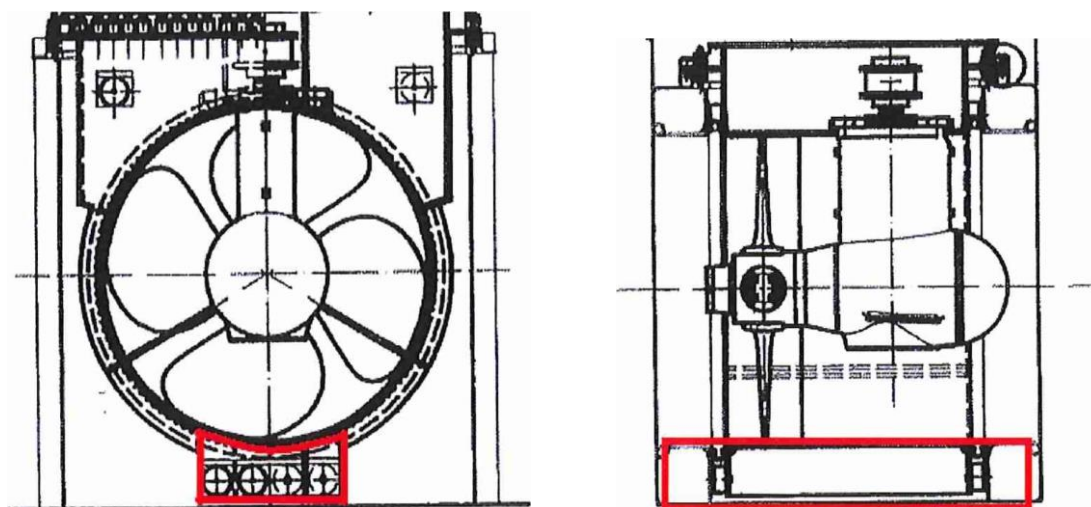
Paso 4. Antes de empezar con el proceso de corte y eliminación de la zona afectada se realizó un arriostrado del túnel, con una estructura soldada con forma de estrella fabricada con vigas UPN de 12mm de espesor, para asegurar su posición y concentricidad original.



Figura 25. Estrella de seguridad para asegurar las dimensiones originales del túnel
Fuente: Propia.



Figuras 26 y 27. Inicios del proceso de corte y plantilla de los elementos estructurales de las zonas bajas del túnel.
Fuente: Propia.



Figuras 28 y 29. Esquemas de la zona más afectada por la que empezamos la reparación.

Fuente: Propia



Figura 30. Foto del corte de la zona afectada.

Fuente: Propia

Paso 5. Tras la eliminación de las zonas afectadas por la corrosión marina debido a las filtraciones de agua de mar a través de las grietas producidas por un estado tensional y sometido a estrés. Se continuó con la siguiente etapa de la reparación, que fue la sustitución de dicho acero dañado por acero de la misma calidad, cualidades mecánicas y composición química y espesor 25mm.



Figura 31. Foto del nuevo acero que se instala en la parte inferior del túnel.

Fuente: Propia.



Figura 32. Foto de la comprobación dimensional mediante plantilla del nuevo acero que se instala en la parte inferior del túnel.

Fuente: Propia.



Figuras 33, 34 y 35. Fotos de la instalación del nuevo acero y su preparación previa para el proceso de soldadura.

Fuente: Propia.

Como hemos mencionado antes, además de la reparación de las zonas dañadas, se realizó un estudio de reforzado de las zonas altas del cuerpo del túnel para distribuir mejor las fuerzas ejercidas por el motor eléctrico y el elemento propulsor sobre el túnel, el cual, fue aprobado por el armador y la sociedad de clasificación.

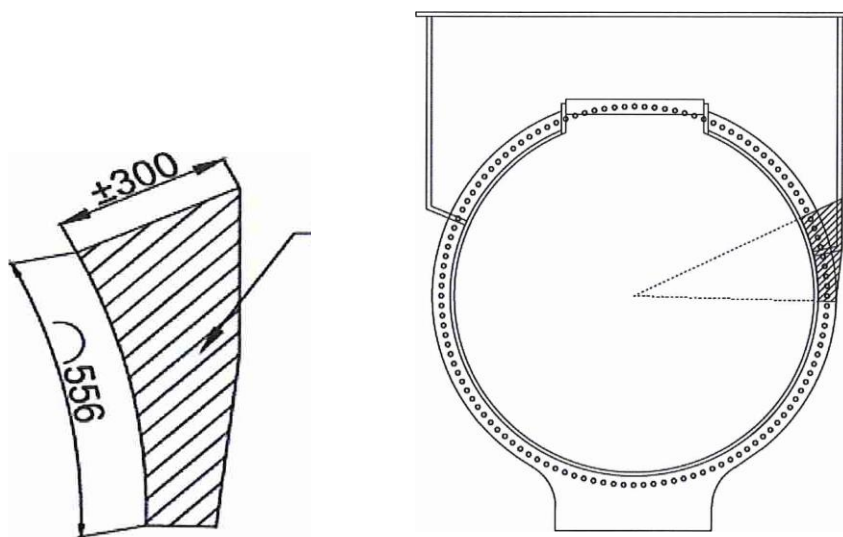
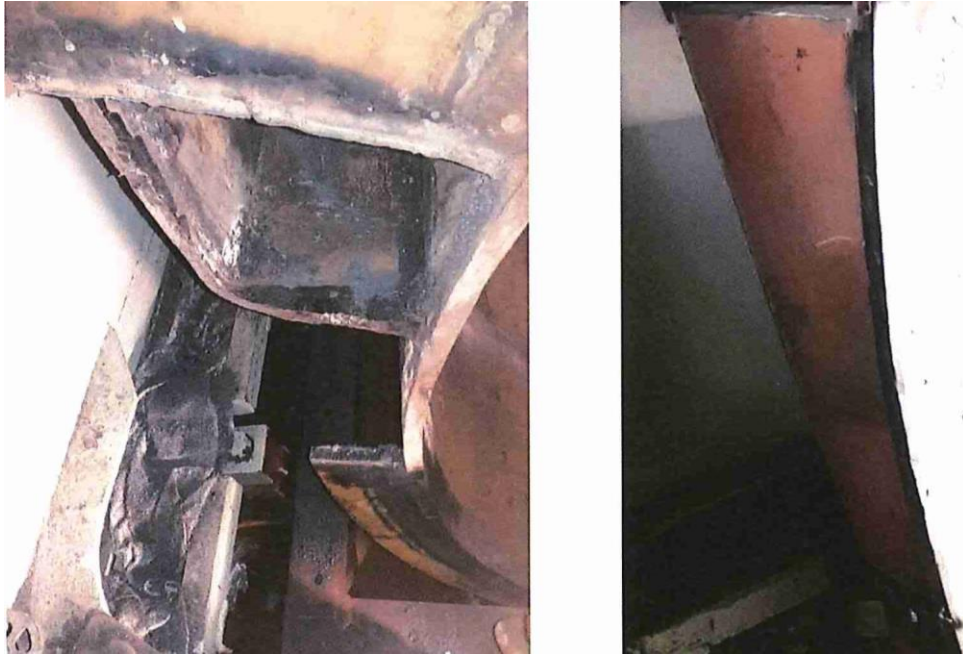


Figura 36. Esquema de la propuesta de reparación de las zonas altas del túnel.

Fuente: Propia.



Figuras 37 y 38. Fotos del reforzado de la parte alta del túnel.

Fuente: Propia.



Figuras 39 y 40. Fotos de los ensayos de END al reforzado de la parte alta del túnel.

Fuente: Propia.

Paso 6. Tras la finalización del proceso de ensamblado y soldadura del cuerpo del túnel se procedió a repetir los ensayos END, de ultrasonidos, líquidos penetrantes y partículas magnéticas, para evaluar la calidad de las soldaduras y la correcta instalación de los elementos rigidizadores instalados en el túnel. Dichos ensayos resultaron satisfactorios, por los que se pudo proceder con el siguiente paso de la reparación, que fue la instalación de la nueva banda de acero inoxidable 316L, la cual no hemos mencionado antes, va sujeta al cuerpo del túnel mediante un sistema de abotonado soldado con electrodos de mezcla para acero inoxidable 316L (esta soldadura y una correcta elección del material de aporte es especialmente importante para no producir corrosión bimetalica).

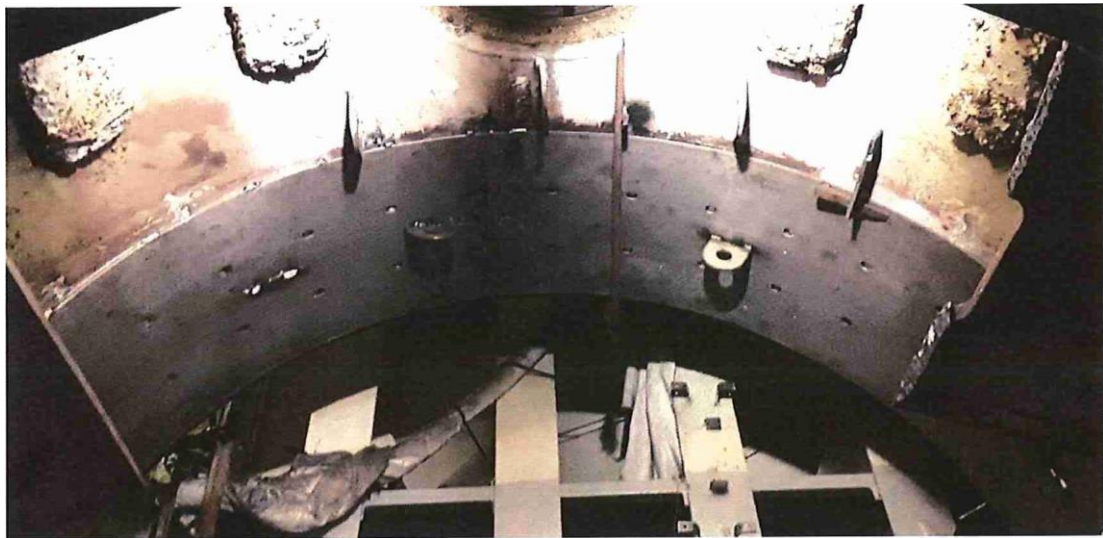


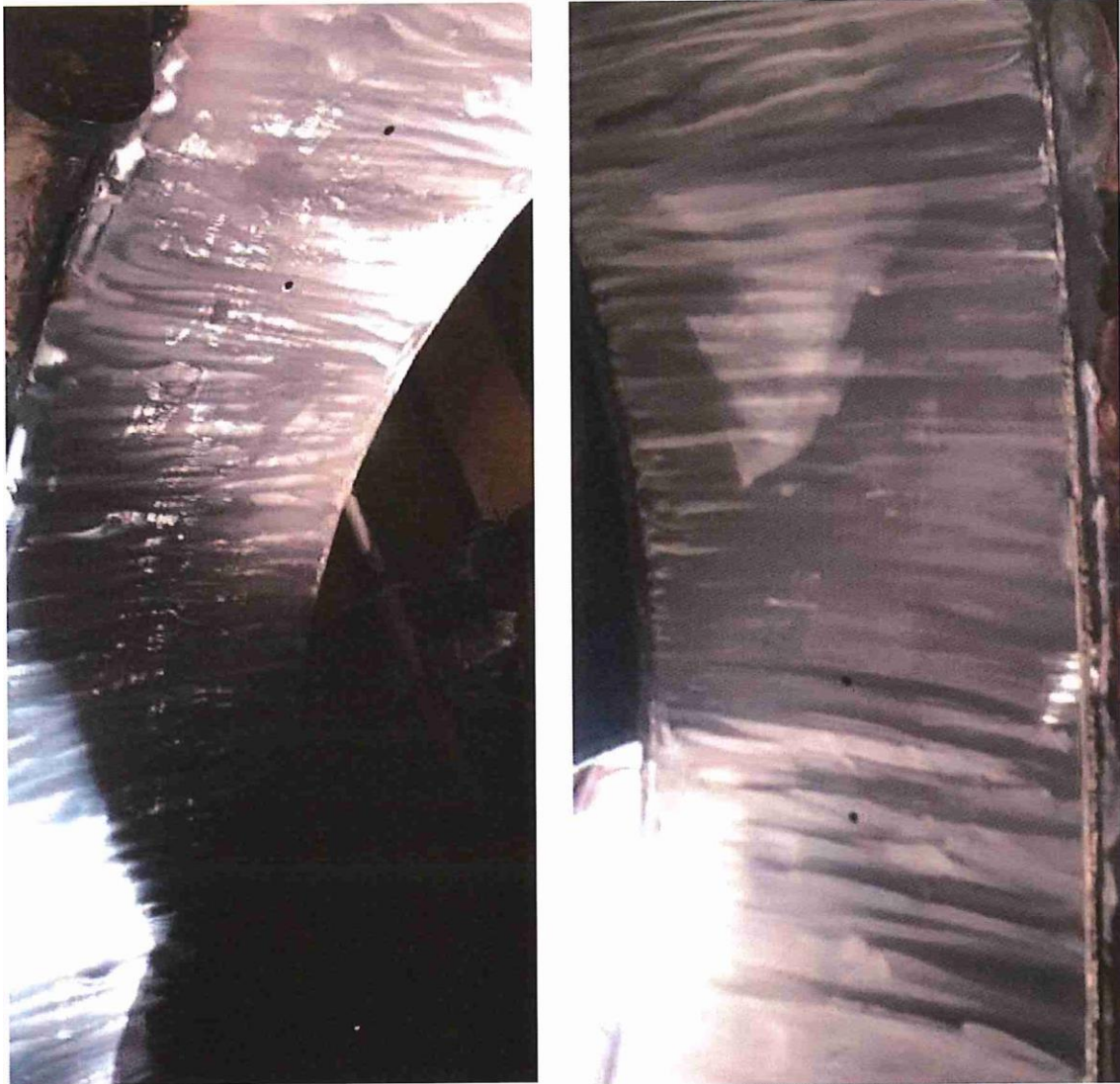
Figura 41. Foto instalación banda de acero inoxidable 316L.

Fuente: Propia.



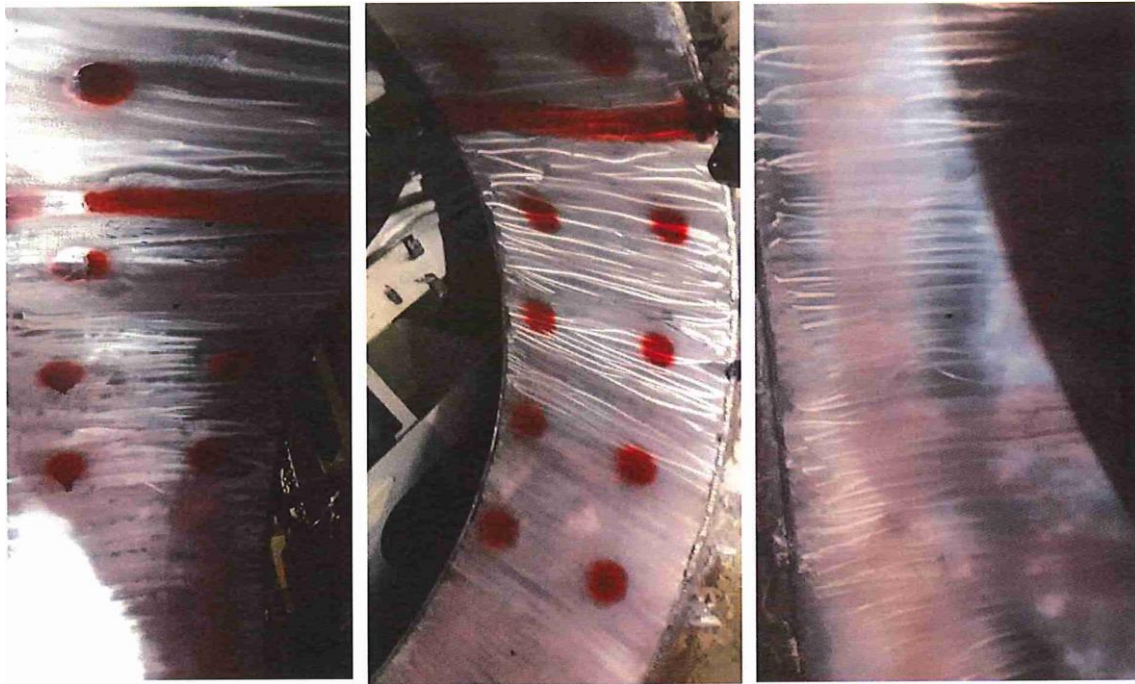
Figura 41. Foto del abotonado soldado en la instalación de la banda de acero inoxidable 316L.

Fuente: Propia.



Figuras 42 y 43. Foto del abotonado de la banda de acero inoxidable 316L después del proceso de amolado y pulido.

Fuente: Propia.



Figuras 44, 45 y 46. Foto del ensayo final de líquidos penetrantes realizado sobre las soldaduras de la banda de acero inoxidable 316L.

Fuente: Propia.

Después de comprobar que la reparación se ha realizado acorde con lo establecido en la especificación y en los procedimientos, procedimos a inyectar una resina de epoxi llamada Araldite, a la cámara existente que queda encerrada entre la banda de acero inoxidable y el cuerpo del túnel, también siguiendo los pasos de la especificación, facilitada por el armador del fabricante del túnel.



Figura 47. Foto del proceso de inyección de resina dentro de la cámara entre los dos aceros.

Fuente: Propia.

Paso 7. Después de la finalización del trabajo de acero además de los ensayos END que se realizaron antes, durante y después de la reparación, se realizaron controles dimensionales tras retirar las estrellas de sujeción para asegurar que las dimensiones iniciales del túnel no habían variado.



Figura 48. Foto del control dimensional final de la concentricidad del túnel.

Fuente: Propia.

Una vez asegurados todos los controles pasa cerciorarse de que la reparación estaba ejecutada de una forma satisfactoria se procedió a la instalación final y montaje de todos los equipos que componen el túnel de hélice de maniobra TH5.

Este paso es muy delicado puesto que un montaje preciso y bien ejecutado asegurará una estanqueidad del sistema y un buen funcionamiento futuro.

Para ello se realizaron todos los ajustes, siguiendo paso a paso los puntos de la especificación en el que se detallan los pares de apriete de los pernos de sujeción de los sellos primarios y secundarios y los grados de compresión que deben de aplicarse sobre dichos sellos para asegurar una buena estanqueidad.

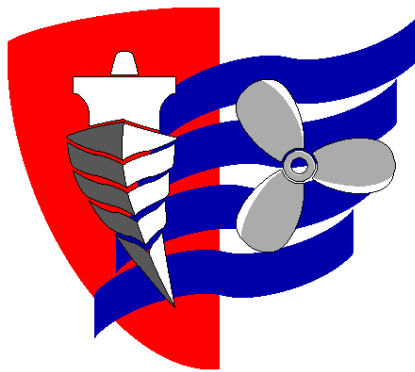
Para finalización de toda la instalación del túnel y sus elementos y como ultima comprobación se realizó una prueba neumática a 0.8bar (siguiendo especificaciones del fabricante) al espacio vacío (void space) que queda encerrado debajo del túnel, para asegurarse de que el sistema es estanco y no permite la entrada de agua.



Figura 49. Foto de la prueba neumática realizada para asegurar la estanqueidad del montaje final.

Fuente: Propia.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Conclusiones

5. CONCLUSIONES

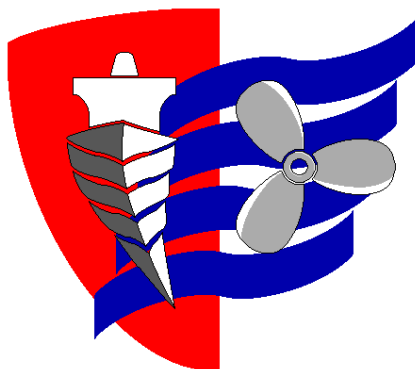
Después de haber realizado el trabajo he podido, como primer punto, saber que el mantenimiento de los materiales es indispensable ya que un mal tratamiento hacia éstos podría causar hechos bastante graves como por ejemplo una rotura de algún material y posible accidente de un trabajador. Además de un buen mantenimiento, una correcta elección del material y un diseño adecuado son fundamentales para el estado y conservación de los materiales.

Otro de los aspectos ha sido la gran dejadez que hay en general en los propietarios y compañías, en estos aspectos, que en muchos casos no se le da la importancia que debiera de tener.

Y por último resaltar el gran coste económico de todos los tratamientos y barreras para frenar la corrosión que se requieren para el mantenimiento y buen estado de las instalaciones y es por ello que muchos propietarios prefieren no hacer mantenimientos preventivos porque no les interesa alargar la vida de ciertos materiales, simplemente en muchas ocasiones prefieren la sustitución completa o repuesto del equipo o zona afectada o dañada por la corrosión.

En mi opinión creo que la corrosión va muy ligada a un mal o buen mantenimiento del material y que hoy en día, con la situación económica actual es muy difícil luchar contra todas estas deficiencias en las estructuras, lo cual plantea un serio problema dentro del ámbito naval.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



BIBLIOGRAFÍA

6. BIBLIOGRAFÍA

→Apuntes tecnología y ciencia de los materiales 3º curso G. I. Marina. Dr. M. Victoria Biezma Moraleda. Curso 2017-2018

→Apuntes máster en ingeniería internacional de soldadura EWF año 2017

→Ingepint, (2019). Disponible en:

<http://www.ingepint.cl/I-T-grados-corrosion.html>. Consultada en: mayo 2019.

→Ingmaritima, (2019). Blog de ingeniería marítima. Disponible en:

<http://ingmaritima.blogspot.com>. Consultada en: mayo 2019.

AGRADECIMIENTOS.

Para concluir este presente trabajo, me gustaría agradecer la inestimable colaboración en el aporte de datos técnicos para la elaboración del presente TFG a los doctores Dr. Alberto Porras Díez y Dra. M. Victoria Biezma Moraleda y a los compañeros y técnicos de Astander, D. David Arenal Ruiz y D. Sergio Subisaga Fernández.

Aviso responsabilidad UC

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Grado de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros,

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Grado, así como el profesor tutor/director no son responsables del contenido último de este Trabajo.”

